Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Halle-Wittenberg.
Direktor: Professor Dr. H. Heinroth.

Elastometrische Untersuchungen am kranken und gesunden menschlichen Zahn sowie deren Bedeutung und Auswertung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Fritz Mohaupt
aus Burg b. Magdeburg
appr. Zahnarzt, Assistent am Zahnärztl. Institut der Univ. Halle

HALLE-SAALE
Buchdruckerei C. F. Rode & Sohn
1934.

Referent: Prof. Dr. H. Heinroth.

Korreferent: Prof. Dr. Walcher.

Seit längerer Zeit sind am hiesigen zahnärztlichen Institut experimentelle Untersuchungen im Gange, die bezwecken sollen, die Elastizitätsmessung der Gewebe als klinische Untersuchungsmethode in den Dienst der Zahnheilkunde zu stellen.

Um zunächst für unsere Versuche den Begriff „Elastizität" festzulegen, wiederhole ich die Definition von Bach, auf der auch H. Heinroth aufbaute: „Elastizität ist die einem Körper innewohnende Eigenschaft, unter Einwirkung äußerer Kräfte eine Aenderung seiner Gestalt zu erleiden und mit Aufhören dieser Einwirkung die erlittene Formveränderung mehr oder minder vollständig wieder auszugleichen".

Auch über die Träger der elastischen Fähigkeiten der Gewebe ist schon von H. Heinroth zusammenfassend berichtet worden. (Misch Bd. IV, 1928).

Zunächst sind es die elastischen Eigenschaften der betreffenden Gewebsart selbst. Diese sind bei Bindegewebe infolge seiner Aufgabe als Stützsubstanz außerordentlich groß (Triebel).

Zu den elastischen Fähigkeiten der Gewebsfasern kommt hinzu das elastische Vermögen der Kapillarwände, die den Blutdruck zum großen Teil auf die Gewebe übertragen. Weiterhin von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist der Zustand der Gewebsflüssigkeiten. Schade sagt: „Was die Gelbildung begünstigt, erhöht den elastischen Widerstand, macht weniger elastisch nachgiebig und umgekehrt, was die Gelbildung benachteiligt, verringert den elastischen Widerstand und macht elastisch nachgiebiger.

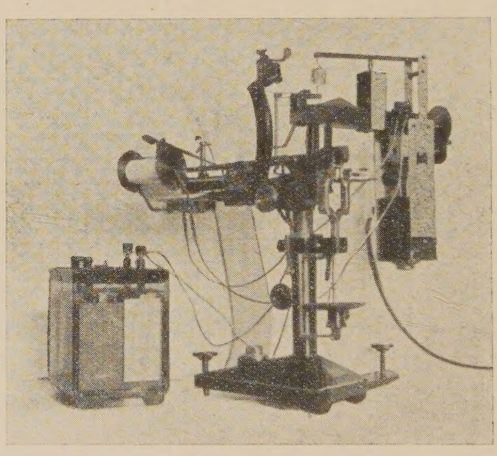
Schade hat auch als erster bewiesen, daß die Elastometrie imstande ist, pathologe Veränderungen aufzuzeigen. Sein Elastometer bestand aus einem Stabe, der unter Druck auf die Haut aufgesetzt wurde; die Bewegungen des Stabes wurden mittels Schreiber auf rotierender Trommel festgehalten.

Der Gedanke mit Hilfe der Elastizitätsmessung den Zustand des Gewebes in der Nachbarschaft eines Zahnes eindeutig und objektiv festzustellen ist auf H. Heinroth zurückzuführen. Von ihm stammt auch die Konstruktionsidee und Ausgestaltung des jetzigen verbesserten Mikroelastometers, das schon mehrere Vorgänger hatte. (Misch IV. Bd. 1928 Klinische Untersuchungsmethoden; H. Heinroth. — D. Z. W. 1934 Nr. 14 O. Heinroth).

Dem Wesen nach gliedert sich die Apparatur in vier Teile:

1. Fest- und Einstellvorrichtung.
2. Belastungsvorrichtung.
3. Uebertragungsvorrichtung der Bewegung des Zahnes.
4. Registriervorrichtung.

Die Einstellvorrichtung hat den Sinn, vermittels auswechselbarer Bißplatten, die mit Abdruckmasse belegt sind, Ober- und Unterkiefer des zu Untersuchenden in geeigneter Lage völlig ruhig zu stellen. Kopfstütze und Stirnbinde helfen hierbei. Außerdem muß die Einstellvorrichtung es uns gestatten, genauestens Angriffspunkt und Richtung der Kraft festzulegen, um spätere Vergleichsmessungen zu ermöglichen. Zu diesem Zweck ist sie mit Strichplatte, Grad- und Höheneinteilung versehen. (s. Bild). Somit ist die gesamte Apparatur der Einstellvorrichtung gegenüber in weitem Maße beweglich.



Die Belastungsvorrichtung besteht aus einem Motor mit Vor- und Rücklauf, der mittels einer schiefen Ebene eine geeichte Spiralfeder auszieht, und sie im weiteren Verlauf der Messung gleichmäßig wieder entspannt. Die Kraft der Feder wird hierbei auf einen Druckstift, der dem Zahne anliegt, übertragen. Zur genauen Einstellung des Entspannungspunktes der Spiralfeder bei Beginn der Messung dient eine Stellschraube und ein Relais.

Der Druckstift steht mit der Belastungsvorrichtung nicht in starrer Verbindung. Er dient gleichzeitig dazu, die Bewegung des Zahnes zu übertragen. Durch ein kleines Gewicht ist ihm eine Vorbelastung (ca. 10-20 g) gegeben, die dafür sorgt, daß

der Stift während des ganzen Ablaufs der Messung in ständiger Berührung mit dem Zahne bleibt. Mit Hilfe des Parallelogramms der Kräfte ist die Bewegung des Zahnes etwa 400fach vergrößert.

Um das Verhalten des Zahnes aufzuzeichnen, ist die Apparatur versehen mit einer Registriervorrichtung bestehend aus Trommel, Registrierplatte mit Schreiber an einer Blattfeder und verstellbarem Uhrwerk. Die Laufzeit des Uhrwerks, welches das Papier von der Trommel über die Registrierbank dreht, ist während der Belastungszeit von 9 Sekunden als konstant anzusehen. Ein Relais, welches mit der schiefen Ebene der Belastungsvorrichtung in Verbindung steht, zeichnet mittels eines Zeichenschreibers Anfang, Mitte und Ende der Belastungszeit auf. Zur Speisung der beiden Relais dient eine Accumulatorenbatterie.

Bei der Suche nach geeigneten Belastungsgrößen (s. O. Heinroth) mußte bedacht werden, daß die Federkraft ja nur in der genauen Mitte der Belastungszeit (nach 4½ Sekunden) voll zur Wirkung kam. Rein theoretisch wäre daher die durchschnittliche Belastung nur die Hälfte der vollen Federkraft während 9 Sekunden. Die zweckmäßigsten Federstärken wurden in Vorversuchen zwischen 100 und 500 g maximaler Federkraft ermittelt. Dem entspräche also eine mittlere Belastung von 50-250 g mal 9 Sekunden. Der Angriffspunkt der Kraft wurde stets in der Mitte des Zahnes, möglichst senkrecht zur Zahnachse etwa 1 mm von der Schneidekante entfernt, eingestellt.

Um die Kurven der Apparatur vergleichbar gestalten zu können, mußten zunächst die Fehler der Kurve, die durch die Schreibführung bedingt sind, ausgeglichen werden. Vor allem ergab sich hier eine Verzerrung in den oberen Abschnitten dadurch hervorgerufen, daß die Entfernung des Schreibers von seinem Drehpunkt bis zur Papierebene nach oben zu immer größer wird. (Der Schreiber ist ja an einer Blattfeder befestigt). Mit Hilfe eines besonderen Maßstabes, der an der absoluten Nullinie angelegt wurde und die Verzerrung der Kurve ausglich, wurden daher die einzelnen Höhen in Sekundenzeiten abgelesen und auf Millimeterpapier übertragen. Als Höheneinheit wurden hier 5 mm gewählt. — Die absolute Null-Linie wird durch den Zeichenschreiber gezogen; sie ist nicht identisch mit der Null-Linie der Kurve! — Als Sekundeneinheit wurden 20 mm festgelegt. Die Belastungszeit, die von der Laufzeit des Motors abhängt, wurde mittels Stoppuhr bei etwa 9 Sekunden festgestellt.

Die Kurve des Abfalls war in fast allen Fällen im Verlauf etwas kürzer als die ansteigende Kurve, sei es weil der Motor im Aufstiegsteil der Kurve nicht gleich auf volle Tourenzahl kam und die Feder auszuziehen hatte, sei es, weil im Abstiegsteil die ausgezogene Feder nunmehr als zusätzliche, beschleunigende Kraft auftrat. Um einheitliche Sekundenzeiten zu haben, wurden daher von der durch den Schreiber festgelegten Mitte aus der rechte und linke Teil der Kurve jeder für sich in $4^1/_2$ Sekundenzeiten unterteilt. Damit diese insgesamt 9 Sekundenzeiten gleichmäßig verteilt waren, wurden sie von links und von rechts nach der Mitte zu abgetragen.

Der Zeichenschreiber der Anfang, Mitte und Ende der der Belastung sowie die absolute Null-Linie aufzeichnet, ist gegen den Kurvenschreiber aus technischen Gründen versetzt. Bei der Feststellung obiger Puukte mußte daher erst die Entfernung beider Schreiber berücksichtigt werden.

Zunächst sind für den Verlauf der Kurven die abstrakten Höhenzahlen in Sekundenzeiten angegeben. Diese Zahlen können bei Kurven gleicher Einstellung in Beziehung gesetzt werden untereinander und zu korrespondierenden Sekundenzeiten. Allzuviel ist jedoch im allgemeinen hieraus nicht zu ersehen.

Die maximale Gipfelhöhe, der Grad des größten elastischen Nachgebens des Zahnes überhaupt, schien sodann ein geeignetes Maß für die Auswertung und den Vergleich verschiedener Kurven zu sein. Jedoch ermöglicht auch die Maximalhöhe keinen absoluten Vergleich von Kurven verschiedener Einstellung, worauf schon O. Heinroth hinwies. Die maximale Höhe ist abhängig vom Kraftmoment, d. h. von der Größe der einwirkenden Kraft × Kraftarm. Die Lage des Drehpunktes zum Angriffspunkt (Länge des Kraftarms) ist uns jedoch unbekannt. Bei Messungen am gleichen Zahn ist der Kraftarm infolge der Bißfixierung und der anderen Einstellmittel stets gleich und braucht daher bei Vergleichskurven am selben Zahn nicht berücksichtigt zu werden.

Eine ganz bedeutende Rolle spielt jedoch die Remanenz der Kurve, d. h. das Zurückbleiben der Kurve hinter (Nichtwiedererreichen) der Null-Linie. (Schon von H. und O. Heinroth angegeben und ausgewertet). Verständlicherweise tritt die Remanenz nur bei pathologen Zähnen in auswertbaren Größen in Erscheinung. Um Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen, wurde die Rema-

nenz zur erreichten Maximalhöhe in Beziehung gesetzt und in Prozent der Höhe ausgedrückt. Diese Größe gibt uns ein vergleichbares Maß für den Elastizitätsverlust am Ende der Messung. Es zeigte sich auch, daß der Beginn der Remanenz zeitlich nicht zusammenfiel mit dem Aufhören der Belastung, sondern erst etwa eine viertel Sekunde später die Endlinie erreicht wurde. Diese Erscheinung, die sowohl bei kranken als auch in geringerem Umfang bei gesunden Zähnen auftrat, ist wohl auf eine gewisse Trägheit des Aufhängeapparates des Zahnes zurückzuführen (Bremsfunktion der Gewebeflüssigkeit).

Um weiterhin eine Möglichkeit zu finden den Kurvenverlauf auszuwerten, insbesondere die Beziehungen des abfallenden Kurventeils zum aufsteigenden festzulegen, wurde zunächst das Verhalten von Federstahlband bei dieser Art der Belastung beobachtet (s. auch O. Heinroth: „Experimentelle Untersuchungen" D. Z. W. 1934 Nr. 14). Es wurde hierbei festgestellt, daß hochwertiges Stahlband innerhalb der untersuchten Belastungen (50--500 g) sich so verhielt, daß der Verlauf des linken und rechten Kurventeils so gut wie völlig ideal (in gerader Linie aufsteigend und abfallend) war. (S. Kurve S. 19). Uebertragen auf die Kurven von Versuchspersonen, entspräche daher der zugehörigen Idealkurve die gradlinige Verbindung vom Anfangspunkt der Belastung bis zur Maximalhöhe und zurück zum Endpunkt. Mit Hilfe eines Planimeters wurde der Inhalt der aufsteigenden und der Inhalt der abfallenden Kurvenfläche begrenzt durch Höhe und Null-Linie (die Verdrängungsfläche) festgestellt. Auf rechnerischem Wege wurde der Flächeninhalt der Verdrängungsfläche der zugehörigen Idealkurve ermittelt (absolute Verdrängungsfläche) $(\text{Zeit} \times \frac{\text{Höhe}}{2}$; rechter Inhalt = linkem).

Von der rechten sowohl wie von der linken Verdrängungsfläche der Versuchskurve wurde die Differenz zur Verdrängungsfläche des zugehörigen Idealkurventeils (absolute Verdrängungsfläche) festgestellt. Beide Differenzen, also die flächenhaften Abweichungen von der zugehörigen Idealkurve (spezifische Verdrängungsflächen genannt) in Beziehung gesetzt, ergeben einen Faktor. Dieser Faktor besagt uns wieviel mal so groß die rechte spezifische Verdrängungsfläche ist wie die linke. Für gesunde Zähne ergab sich bei mehreren Messungen eine Größe von 1,50 bis 1,80. Bei Elastizitätsverlusten wird sich naturgemäß dieser Faktor beträchtlich vergrößern.

Der Faktor erlaubt — abhängig noch in geringem Maße von den Belastungsgrößen — einen Vergleich aller Kurven verschiedener Einstellung. Wir sind somit durch Ausschalten der maximalen Höhe, bis zu einem gewissen Grade unabhängig von Angriffs- und Drehpunkt, d. h. unabhängig vom Kraftmoment geworden.

Es ist außerdem noch die rechte spezifische Verdrängungsfläche ausgedrückt in Prozent ihrer zugehörigen absoluten Verdrängungsfläche. Bei mehreren Messungen an gesunden Zähnen wurde dieser Prozentsatz mit etwa 30 bis 40 % ermittelt. Abweichungen darüber hinaus müssen als patholog betrachtet werden. 100 % wären gleichbedeutend mit völligem Elastizitätsverlust, was praktisch nicht vorkommt.

Eine letzte Möglichkeit speziell für die Auswertung der rechten Abstiegskurve sehe ich noch in der Feststellung ihrer mittleren Höhe gemessen über der Verbindungslinie von maximaler Höhe bis zum Endpunkt, oder in der Angabe der Lage und Größe der Scheitelhöhe dieses Kurventeils.

Bei den Versuchen am toten Objekt (Federstahlband) erwies sich die Apparatur als hinreichend genau (bis 500 g Bel.; auch bei Stahl zeigen sich bekanntlich je nach der Belastung kleine Remanenzerscheinungen). An Versuchspersonen jedoch, traten zumal in den Vorversuchen beträchtliche Schwierigkeiten auf, die nur zum Teil auf die Apparatur (ungenügendes Ruhigstellen des Kopfes usw.) zurückzuführen waren. Die Versuchspersonen mußten nämlich während der ganzen Versuchsdauer (ca. 15 bis 20 Sek.) sich völlig ruhig verhalten und durften nicht einmal Atem holen, da sonst beträchtliche Schwankungen von der Null-Linie auftraten. Ungeeignete Personen, die keine exakte Null-Linie zustande brachten, mußten daher von vornherein ausscheiden. Außerdem ist die Messung in weitem Maße abhängig von dem Verhalten des Untersuchenden; vor allem wohl von der genauen Einstellung und Bedienung der Apparatur, einer Angelegenheit zu der viel Uebung und Geschick gehört, aber wohl auch von seinem eigenen Ruhigverhalten und genauen Beobachten während der Messung selbst. Die auftretenden Fehler werden also wohl bei jedem Untersuchenden und bei jeder Versuchsperson verschiedene sein. Die Fehler aber in ertragbaren Größen zu halten, war eine unbedingte Voraussetzung der Versuche. (Ueber das Auftreten von Schwingungen zu Beginn und am Ende der Belastung hat O. Heinroth schon berichtet).

Erklärungen zu den Tabellen.

V-Fl. links = Verdrängungsfläche links

V-Fl. rechts = Verdrängungsfläche rechts

abs. V-Fl. = Absolute Verdrängungsfläche = Gesamtverdrängungsfläche der idealen Kurve : 2

spez. V-Fl. links = Spezifische Verdrängungsfläche links = Verdrängungsfläche links minus absolute Verdrängungsfläche

spez. V-Fl. rechts = Spezifische Verdrängungsfläche rechts = Verdrängungsfläche rechts minus absolute Verdrängungsfläche

Verh. Zahl = $\frac{\text{Spezifische Verdrängungsfläche rechts}}{\text{Spezifische Verdrängungsfläche links}}$

Max.-Höhe = Maximalhöhe der Kurve (Scheitelhöhe) bei $4^1/_2$ Sek. in mm gemessen

Rem. = Remanenz = Zurückbleiben von der Null-Linie in mm gemessen

Rem. % = $\frac{\text{Remanenz}}{\text{Maximalhöhe}}$

Spez. % = $\frac{\text{Spezifische Verdrängungsfläche rechts}}{\text{Absolute Verdrängungsfläche.}}$

Die Originalkurven befinden sich im Besitz von Herrn Professor H. Heinroth, desgleichen die Röntgenaufnahmen, die von den meisten Versuchspersonen zur Sicherung der Diagnose gemacht wurden.

Lfd. Nr. 1
Versuchsperson: R. L.
Alter: 12 Jahre

Diagnose: 1⌋ Parulis
Belastung: 500 g

Kurve 1 unmittelbar nach Trepanation von 1⌋
Kurve 2 4 Tage nach der Trepanation
Kurve 3 5 Wochen später, nach inzwischen erfolgter Wurzelbehandlung und Füllung.

Tabelle 1.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	47,50	71,90	39,60	7,90	32,40	4,10	88,0	36,5	41,5	82,0
„ 2	42,00	53,10	33,50	8,50	20,10	2,36	74,5	15,5	20,8	60,0
„ 3	36,90	44,20	29,00	7,90	15,20	1,92	65,0	10,5	13,1	52,4

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	31	49	67	85	88	88	85,5	81	68	45
„ 2	30	46	58	70	74,5	73	67	60	50	23
„ 3	27,5	40	51,5	63	65	63,5	58,5	49	36	20

Es sind die zugehörigen Idealkurven eingezeichnet worden. — Es ist zu berücksichtigen, daß infolge der Parulis der Zahn etwas aus dem Alveolenfach herausgedrängt war, so daß der Angriffspunkt (also auch das Kraftmoment) ein wenig verändert wurde.

Die in der letzten Kurve noch bestehende Remanenz von 16,1% zeigt uns, daß der Heilungsvorgang (Knochenneubildung im periapicalen Teil) noch nicht beendet ist. (Siehe Bild 1 S. 19).

Lfd. Nr. 2
Versuchsperson: F.
Alter: 25 Jahre.

Diagnose: 1⌋ Periodontitis
Belastung: 500 g

Kurve 1 Periodontitis im Verlauf einer Wurzelbehandlung
Kurve 2 nach 30 Min. Solluxbestrahlung (anschließend gemessen)
Kurve 3 14 Tage später (nach Füllung gemessen — Zahn ist klinisch wieder gesund)

Tabelle 2.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	29,90	41,50	24,50	5,40	17,00	3,15	54,5	13,5	24,8	69,1
„ 2	27,70	29,50	22,50	5,20	7,00	1,35	50,0	(- 6,5)	**(-13,0)**	31,1
„ 3	28,90	33,90	23,60	5,30	10,30	1,94	52,5	—	—	43,6

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	19	32,5	43	51	54,5	53,5	51	45	38	20
„ 2	16,5	30	40	48	50	48	40	32	23	0
„ 3	19	31	41	50	52,5	51,5	47	36	26	11

Die Kurven zeigen besonders deutlich die Bedeutung der Kapillargefäße als Träger elastischer Fähigkeiten. Durch die Wärmezufuhr ist eine erhebliche Steigerung des Blutumlaufs im bestrahlten Gewebe eingetreten. Die prall gefüllten Blutgefäße reagieren auf die Belastung mit einem kleinen Gegenstoß. Der Grad dieses Hinausschwingens über die Null-Linie bei Ablauf der Belastung kann jedoch nicht ohne weiteres in Beziehung gesetzt werden zur ereichten Maximalhöhe, da jenseits der Null-Linie die Federkraft nicht mehr zur Geltung kommt und nur die Vorbelastung des Zeigers (ca. 10—20 g) zum Teil überwunden wird. Bei Kurve 3 sind normale Zustände wieder erreicht. (Siehe Bild 2 Seite 19).

Lfd. Nr. 3
Versuchsperson: Z.
Alter: 40 Jahre.

Diagnose: $\underline{1}$ Periodontitis mit Granulom im Röntgenbild.
Belastung: 500 g

Kurve 1 Messung vor der Therapie
Kurve 2 unmittelbar nach der Therapie (20 Min. Sollux-Bestrahlung)

Tabelle 3.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	26,10	37,40	21,40	4,70	16,00	3,40	47,5	12	25,2	74,7
„ 2	22,20	26,70	18,00	4,20	8,70	2,07	40	3	7,5	48,3

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	18	27	36,5	44	47,5	47	46	40,5	35	22
„ 2	16	22,5	30,5	37,5	40	38	36	29	21	6

Die Kurve 2 zeigt Rückkehr des Elastizitätsvermögens fast bis zu normalen Werten. Ein Hinausschwingen über die Null-Linie wurde hier nicht beobachtet, vermutlich wegen der kürzeren Bestrahlungszeit. (20 Min.)

Lfd. Nr. 4
Versuchspersonen: Sch. 20 Jahre Kurve 1 ⌊3
B. 38 „ „ 2 2⌋
G. 21 „ „ 3 ⌊3

Tabelle 4.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	41,70	63,30	34,40	7,30	28,90	3,96	76,5	24,0	31,4	84,0
„ 2	50,90	73,20	39,60	11,30	33,60	2,97	88,00	30,0	34,1	84,0
„ 3	24,50	30,90	19,30	5,20	11,60	2,23	43	11	25,5	60,1

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	26	44	58	71,5	76	76	73,5	71,5	64,5	36
„ 2	36	58	70	82	88	88	85	80,5	71,5	49
„ 3	17,5	26	34,5	41	43	42	38	33,5	26,5	16,5

Es handelt sich hier um die Kurven von 3 verschiedenen Versuchspersonen. In jedem Falle bestand an der Wurzelspitze der untersuchten Zähne ein Granulom ohne bezw. fast ohne Beschwerden. Der Wurzelkanal war stets mit einem Chlorphenolfaden versehen. Man beachte den außerordentlichen Elastizitätsverlust, der sowohl in der Verhältniszahl als auch in der Remanenz und in dem Prozentsatz der rechten spezifischen Verdrängungsfläche deutlich zum Ausdruck kommt.

Lfd. Nr. 5
Versuchsperson: K.
Alter: 34 Jahre.
Befund: ⌊2 ist stark gelockert und hat eine Fistel
Belastung: 75 — 125 — 200 g

Tabelle 5.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 200	37,60	51,60	33,10	4,50	18,50	4,11	73,5	16,0	21,7	56,0
„ 125	25,70	35,30	23,80	1,90	11,50	6,00	53,0	11,0	20,8	48,3
„ 75	14,20	19,60	13,00	1,20	6,60	4,50	29,0	8,5	27,0	50,8

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 200	25	40,5	52,5	68	73,5	72,5	62,5	56	45	21,5
„ 125	15	30,5	35	43,5	53	52,5	45	33,5	31,5	14
„ 75	8,5	18,5	19	26,5	29	27	20,5	23	20	6,5

Der zunächst sehr unwahrscheinlich aussehende Verlauf der Kurven findet seine Erklärung in einer Fistel in der Gegend des Apex. Beim Einsetzen der Belastung wird ein Teil der Gewebsflüssigkeit und des Sekretes schnell durch die Fistel hinausgedrängt. Dann wieder wird, im weiteren Verlauf der Messung, die Belastung auf die Alveolarinnenkompacta übertragen. Der Verlauf der Höhentabelle zeigt uns die Funktion der Gewebsflüssigkeit bei Belastungen. Besonders deutlich sind diese Beziehungen bei der niederen Belastung (Kurve 75) zu sehen.

Lfd. Nr. 6
Versuchsperson: B.
Alter: 51 Jahre.

Befund: 1⌋ gesunder Zahn
Belastung: 500 g

Tabelle 6.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	26,40	30,00	22,10	4,30	7,90	1,84	49,0	—	—	35,7
„ 2	26,30	29,30	21,60	4,70	7,70	1,64	48,0	—	—	35,6

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	16,5	28	37	45,5	49	48	42,5	33	23	4
„ 2	16,5	27,5	37	45	48	46,5	39,5	31,5	21	0

Diese beiden Kurven sollen die Fehlerbreite der Apparatur veranschaulichen. Die Verhältniszahl schwankt zwischen 1,84 und 1,64. Die spezifische Zahl ändert sich kaum (35,7 - 35,6). Remanenz tritt in beiden Kurven nicht in Erscheinung. Die Kurven wurden im Abstand von 2 Min. voneinander aufgenommen.

Lfd. Nr. 7
Versuchsperson: B.
Alter: 51 Jahre.

Befund: 2⌋ Granulom. (Röntgenaufnahme)
Belastung: 500 g

Kurve 1 vor der Resection gemessen
„ 2 4 Wochen nach der Resection

Tabelle 7.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	39,40	55,70	31,50	7,90	24,20	3,06	70	23,5	33,5	76,8
„ 2	34,10	49,30	31,10	3,00	18,30	6,06	69	11,0	15,9	58,5

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	26	42,5	57	66,5	70	68,5	64,5	57	48	24
„ 2	18,5	33,5	50	64	69	68,5	64	55	41,5	22

Infolge der Resection der Wurzelspitze ist bei der Kontrollmessung eine Aenderung in den Voraussetzungen für einen objektiven Vergleich der Kurven eingetreten. Die Lage des Drehpunktes hat gewechselt; es ist eine Verschiebung im Kraftmoment eingetreten. Dadurch kommt es, daß die Maximalhöhe beider Kurven fast gleich groß ist. Es hätte auch sehr leicht der Fall eintreten können, daß die Maximalhöhe der zweiten Kurve größer als die der ersten Kurve geworden wäre. Vermutlich infolge eines Fehlers im Anstieg der zweiten Kurve gibt die Verhältniszahl der zweiten Kurve ein falsches Bild.

Lfd. Nr. 8
Versuchsperson: Sch.
Alter: 29 Jahre. Diagnose: Paradentose
Belastung: 500 g u. 200 g
Zahn: $\overline{1}$

Kurve 1 vor der Therapie
„ 2 nach „ „ (Ultra-Violett-Bestrahlung 6 × steigend von 3—5 Min.)
„ 3 vor „ „
„ 4 nach „ „ (Ultra-Violett-Bestrahlung 6 × steigend von 3—5 Min.)

Tabelle 8.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	33,70	43,10	28,10	5,60	15,00	2,7	62,5	21	33,6	53,4
„ 2	30,90	36,30	27,00	3,90	9,30	2,4	60,0	6	10,0	34,4
„ 3	12,80	17,70	11,50	1,30	6,20	4,7	25,5	9	35,0	53,9
„ 4	11,90	13,80	10,60	1,30	3,20	2,46	23,5	—	—	30,1

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	24	36	48	60	62,5	61	55,5	47,5	32	22
„ 2	18	32	44	55	60	58,5	50	40	26	9
„ 3	6	12,5	18,5	24	25,5	25	21,5	18	14,5	11
„ 4	5	11,5	17	22,5	23,5	23,5	19	14,5	9	2

Die Kontrollmessung fand 2 Tage nach der letzten Bestrahlung statt. Die Messung ergibt eine außerordentliche Besserung im Elastizitätsverlust, besonders deutlich bei der niederen Belastung zu sehen. Patient selbst gibt auffallendes Festerwerden der Zähne an. Es erscheint jedoch sehr fraglich ob der erzielte

Erfolg von längerer Dauer sein wird, da mit Knochenneubildung kaum gerechnet werden kann, und die Steigerung der elastischen Fähigkeiten des Bindegewebes wohl nur vorübergehend ist.

Lfd. Nr. 9
Versuchsperson: K.
Alter: 34 Jahre. Diagnose: Atrophia praecox.
(Patient hat freiliegende Zahnhälse)
Belastung: 500 g

Kurve 1: gesunder Zahn ⌊1
„ 2: gesunder Zahn 1⌋
„ 3: gesunder Zahn 2⌋

Tabelle 9.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	35,70	39,00	29,30	6,40	9,70	1,51	65	2	3	33,1
„ 2	48,70	54,30	39,60	9,10	14,70	1,61	88	4,5	5	37,1
„ 3	35,40	38,40	29,50	5,90	8,90	1,50	65,5	—	—	30,1

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	23,5	37,5	50	60	65	62	53,5	43	28,5	6
„ 2	32,5	50,5	69,5	82,5	88	86	73,5	61	42,5	9
„ 3	21,5	38,5	50,5	61,5	65,5	61,5	51,5	43	28,5	6,5

Trotz freiliegender Zahnhälse und sehr langer Krone erscheinen die Zähne noch außerordentlich fest. Im Röntgenbild scheint eine Verstärkung der Alveolarinnenkompacta eingetreten zu sein.

Lfd. Nr. 10
Versuchsperson: D.
Alter: 18 Jahre. Diagnose: ⌊1 Inaktivitätsatrophie
Belastung: 500 g u. 200 g

Kurve 1: 500 g Kurve unmittelbar nach völliger Ruhigstellung von ⌊1 während 2 Wochen
„ 2: 500 g Kurve nach ca. 3 Wochen
„ 3: 200 g unmittelbar nach 2 Wochen Ruhigstellung
„ 4: 200 g 3 Wochen später

Tabelle 10.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	43,10	60,00	33,30	9,80	26,70	2,72	74	39	52,7	80,1
„ 2	22,20	29,40	19,80	2,40	9,60	4,00	44	9	20,4	48,4
„ 3	22,80	34,60	20,50	2,30	14,10	6,1	45,5	15	32,9	68,7
„ 4	15,60	17,30	13,30	2,20	4,00	1,81	29,5	2,5	8,6	30,0

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	33	47	57	71	74	73	70	65	58	47
„ 2	13	24	31	40	44	44	39,5	33	23,5	10
„ 3	13	25	32	41	45,5	45,5	43,5	37,5	31,5	19
„ 4	11	16	22	28	29.5	27	22	18	9,5	1.5

Der Versuchsperson war durch Schienung einer Unterkieferfraktur jede Möglichkeit einer Kaufunktion genommen. Auch eine Belastung des Zahnes durch Zugkräfte konnte infolge Fehlens der Ligatur zur Schiene nicht eintreten. Es handelt sich somit bei Kurve 1 und 3 um ein Erschlaffen der elastischen Fähigkeiten infolge Inaktivitätsatrophie. 3 Wochen nach Entfernung der Schienen und Wiederherstellung der Kaufunktion sind normale Werte fast wieder erreicht. Außerordentlich deutlich kommt zum Ausdruck das Bestreben des Zahnes bei der Ruhigstellung aus der Alveole herauszukommen (siehe Maximalhöhen).

Der untersuchte Zahn hatte in der Schlußbißstellung keinen Kontakt mit der unteren Zahnreihe.

Lfd. Nr. 11
Versuchsperson: D.
Alter: 49 Jahre.

Diagnose: Verlust der Papillen
Atrophia praecox
(Es besteht Progenie.)

Belastung: 500 g

Kurve 1 2| vor der Therapie
„ 2 2| nach der Therapie (5 Wochen tägl. Massage mit jodhaltiger Zahnpaste)
„ 3 |2 vor der Therapie
„ 4 |2 nach der Therapie (5 Wochen tägl. Massage mit jodhaltiger Zahnpaste)

Tabelle 11.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. Verh. %
Kurve 1	33,70	39,30	27,50	6,20	11,80	1,90	61	—	—	42,9
„ 2	31,50	37,00	26,30	5,20	10,70	2,02	58,5	—	—	40,7
„ 3	28,70	41,00	25,00	3,70	16,00	4,32	55,5	8,5	15,3	64,0
„ 4	28,70	37,70	23,90	4,80	13,80	2,87	53	7,0	13,2	57,7

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	23,5	36,5	46,5	56,5	61	59	53	45	30,5	8,5
„ 2	21	33,5	44,5	54	58,5	56	51	41,5	29	8,5
„ 3	17,5	29	40	51	55,5	54	51	47	39	11
„ 4	20	31	39,5	49	53	51,5	48,5	42,5	35	10

Aus dem Verlauf der Kurve 1 und 2 ist nichts zu ersehen. Die Kurve 4 scheint eine Besserung gegenüber der Kurve 3 aufzuweisen. Es ist jedoch fraglich, ob etwa die Massage oder der Jodgehalt der Paste Ursache der Besserung ist.

Lfd. Nr. 12
Versuchsperson: H.
Alter: 37 Jahre.

Diagnose: Starke Gingivitis mit entzündlichen Granulationen am Zahnfleischsaum.
Belastung: 200 g
Zahn 2|

Kurve 1 Messung vor der Therapie
„ 2 Messung nach der Therapie (3 Wochen lang 3 mal tägl. Bepinselung mit Pyoctanin).

Tabelle 12.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	32,10	45,70	26,10	6,00	19,60	3,26	58	26	44,8	75
„ 2	28,50	34	22,50	6,00	11,50	1,91	50	14,5	29	51,1

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	21	36,5	46	54	58	57	53,5	51	45	28
„ 2	22,5	33,5	40	48	50	49	44	38	28	15

Es ist eine wesentliche Besserung eingetreten, was auch aus dem Verlauf der Tabellen hervorgeht. Der immer noch bestehende Elastizitätsverlust ist auf die Reizung des Zahnfleisches durch Zahnsteinansatz zurückzuführen.

Lfd. Nr. 13
Versuchsperson: L.
Alter: 35 Jahre.

Befund: 1| Gangrän
|1 Gesunder Zahn
Belastung: 500 g

Kurve 1 1| kranker Zahn
„ 2 |1 gesunder Zahn

Tabelle 13.

	V-Fl links	V-Fl rechts	abs. V-Fl	spez. V-Fl links	spez. V-Fl rechts	Verh. zahl	Max. Höhe	Rem. mm	Rem. %	Spez. %
Kurve 1	23,10	23,30	17,60	5,50	5,70	1,03	39	(- 6,0)	—	32,4
„ 2	19,10	22,70	15,10	4,00	6,60	1,65	33,5	2,0	6,0	43,7

Tabelle der absoluten Höhen in mm.

Sek.	1	2	3	4	4,5	5	6	7	8	9
Kurve 1	16	25	32	47	49	48	33	26	17	0
„ 2	14	20	26	32	34	32,5	29	25,5	18	6

In $\underline{1}|$ wurde zufällig eine tote Pulpa gefunden. Der Zahn wurde mit Hypochlorit gewaschen, mit Chlorphenoleinlage versehen und anschließend gemessen. Infolge der medikamentösen Behandlung zeigt die Kurve ein Hinausschwingen über die Null-Linie. (Eine Vergleichsmessung vor der Behandlung ist leider nicht gemacht worden.) Der geringgradige Elastizitätsverlust bei dem gesunden Zahn $|\underline{1}$ kann vernachlässigt werden, da er innerhalb der Fehlerbreite der Kurven liegt; vielleicht ist er zurückzuführen auf ein Uebergreifen der Elastizitätsstörungen vom kranken Zahn $\underline{1}|$.

Die vorliegende Arbeit sollte ein Versuch sein mit Hilfe des beschriebenen Mikroelastometers Vergleichsdiagramme insbesondere von kranken Zähnen zu gewinnen und auszuwerten. Es kann auf Grund der Versuche und Tabellen festgestellt werden:

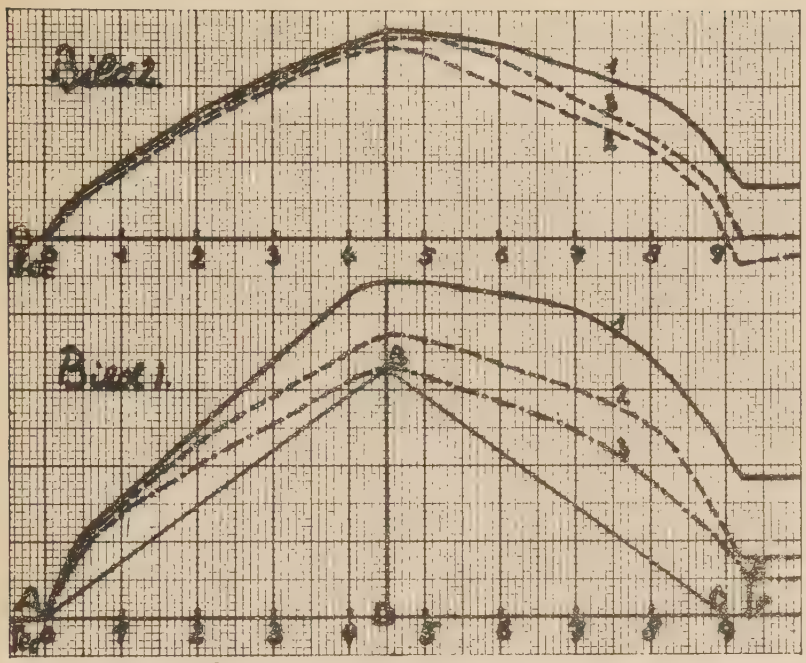
Die jetzige Versuchseinrichtung gestattet bei relativ groben Veränderungen des Elastizitätsvermögens einen hinreichenden Einblick in die Vorgänge im Gewebe. Es ist zu hoffen, daß mit Verringerung der Fehlerbreite der Apparatur auch feinere Elastizitätsveränderungen exakt meßbar sind. Die Probleme der Verbesserung der Versuchsanordnung können hier nicht erörtert werden.

Es sind außerdem hinreichend Möglichkeiten erschlossen worden, den Kurvenverlauf zahlenmäßig auszudrücken, so daß innerhalb gewisser Grenzen ein Vergleich verschiedener Kurven untereinander möglich ist.

Als wichtigstes und zuverlässigtes Maß ist hier die Remanenz der Kurve bezogen auf ihre maximale Höhe zu nennen. Sodann gestattet auch die Verhältniszahl und die spezifische Zahl einen Vergleich.

Bei Kurven gleicher Einstellung vermitteln die anderen in den Tabellen genannten Größen wertvolle Aufschlüsse, da sie untereinander in Beziehung gesetzt werden können und außerdem in den Höhentabellen fortlaufende Zahlenreihen darstellen.

Diagramme zur Lfd. Nr. 1 und 2.



Dem Original gegenüber im Maßstab verkleinert (1:2).

Im Bild 1 ist zur Kurve 3 die zugehörige Idealkurve eingezeichnet worden.

AC = Belastungszeit.
BD = Maximal-Höhe in mm.
EF = Remanenz in mm.
BEFD = Verdrängungsfläche rechts.
BCD = Zugehörige absolute Verdrängungsfläche.
BEFC = Spez. Verdrängungsfläche rechts.

Der Flächeninhalt in den Tabellen ist in cm^2 angegeben.

In jedem Falle verläuft die Kurve mehrere Sekunden unmittelbar vor der Belastung als gerade Linie (Null-Linie).

Auch nach Aufhören der Belastung bleibt für etwa 3—10 Sekunden (soweit läßt die Beobachtung zu) die Höhe der erreichten Endlinie konstant Nur in Kurve 2, Bild 2, besteht die Tendenz zur schnellen Rückkehr zur Null-Linie. (Siehe Erklärung Lfd. Nr. 2).

Herrn Professor Dr. H. Heinroth möchte ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen für die dauernde Unterstützung und die wertvollen Anregungen bei dieser Arbeit.

Literaturangabe.

Bach, C.: Elastizität und Festigkeit. Berlin (1894).

Heinroth, H.: Misch „Die Fortschritte der Zahnheilkunde" IV. Bd. (1928), Lieferung 2. Klinische Untersuchungsmethoden: Die Grundlagen der Gewebselastometrie sowie deren Bedeutung für Medizin und Zahnheilkunde.

Heinroth, O.: Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift (1933) Nr.38. „Experimentelle Bestimmung des Drehpunktes der Zähne innerhalb des Paradentiumfasersystems".

Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift (1934) Nr.14. „Experimentelle Untersuchungen zwecks Gewinnung und Auswertung von elastometrischen Vergleichsdiagrammen vom menschlichen Zahn und Federstahlband mit Hilfe eines neuen Mikroelastometers.

Schade, H.: Untersuchungen zur Organfunktion des Bindegewebes. 1. Mitteilung: „Die Elastizitätsfunktion des Bindegewebes und die intravitale Messung ihrer Störungen".
Zeitschrift f. exper. Pathologie und Therapie XI. S. 369 (1912).

Triepel, H.: Einführung in die physikalische Anatomie, Wiesbaden (1912).

Lebenslauf.

Am 28. April 1909 bin ich in Ulm a./D. geboren. In Burg bei Magdeburg, meinem jetzigen Heimatort, besuchte ich das Victoria-Realgymnasium bis zur Reifeprüfung. Im S-S 1929 begann ich in Halle (Saale) das Studium der Zahnheilkunde. Im S-S 1930 bestand ich in Rostock mein Physikum. Nach einem Studium von 7 Semestern erhielt ich im November 1932 die Approbation als Zahnarzt. Seit dieser Zeit bin ich am Zahnärztlichen Institut der Universität als Assistent tätig.